法政大学大学院	学生会員	小松	義隆
法政大学工学部		船岡	政彦
地盤調査事務所	正会員	木下	孝介
法政大学工学部	正会員	岡	泰道

## <u>1. はじめに</u>

筆者らはこれまで,標準砂を用いた鉛直カラム実験と移流分散 方程式および two-region model を用いた数値シミュレーションに 基づき,移流分散パラメータの推定を行ってきた<sup>1)</sup>.標準砂に対 しては,two-region model を適用すると,従来の移流分散方程式よ り得られる分散長よりも,用いることで小さくなるということが 確認されている.本研究では,広範囲な間隙分布を持つ団粒構造 を有する土壌試料を用いることにより,溶質輸送の指標となって いる物質移動係数を定量的に把握することを目的としている.

## 2. 1次元鉛直カラム実験装置

実験装置(図 1)は,内径 0.155m,高さ 1.5mの鉛直カラム,降雨 装置,定水位装置,地下水位設定装置および流量計(転倒ます型)に より構成されている.図2に示すように,カラムにはECセンサ, 土壌水分センサ,温度センサの3種を各深度それぞれに埋設してある.

## 3. 飽和溶質移動実験

粒径 0.25~0.475mmの範囲にふるい分けし, 飽和させた鹿沼土を 土壌試料として用い,水締め方式により充填した.溶質は非吸着性 物質である NaClを用いた.3種類の降雨強度を設定し,定常降雨を 供給した.また,カラム内が飽和状態となるように維持し,浸透が 定常状態となった後に,供給水を NaCl 溶液に切り替える.電気伝 導度を EC センサにより測定し,相対濃度の時間的変化を求める.

本稿においては,降雨強度 111.7(mm/hr)の実験について解析および検討を行う.実験結果を図3に示すが, 初期には相対濃度が緩やかに増加し,終期である相対濃度0.8付近から tailing 現象がすべての深度において 生じていると推察される.

# <u>4. 数値シミュレーションモデル</u>

実験結果より tailing 現象がみられたので,ここでは以下の2つのモデルについて検討した.ただし吸着は 生じないものと仮定した.

モデル (移流分散方程式)  $\frac{\partial C}{\partial t} + u' \frac{\partial C}{\partial z} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$  …(1)

モデル (two-region model)

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - \theta_m v_m \frac{\partial C_m}{\partial z} , \quad \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha \left( C_m - C_{im} \right) \cdots (2)$$

ここで, $C_i$ :成分 i の溶質濃度, $\theta_i$ :成分 i の体積含水率, $u'_i$ :実流速(m/s),D:分散係数(m<sup>2</sup>/s), $\alpha$ :物 質移動係数(s<sup>-1</sup>),である.また下付添字は,m:可動水,im:不動水を表す.

- キーワード 鹿沼土,鉛直カラム,物質移動係数
- 連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL:042-387-6278 E-mail: oka@k.hosei.ac.jp



図1 1次元鉛直カラム実験装置



図2 各種センサの配置

## <u>5. パラメータの推定</u>

団粒構造を有する鹿沼土のミクロポアに支配さ れている領域については,可動水の存在割合は実 流速および降雨強度により算出した.上述の両モ デルを適用し,実験値と解析値が符合するように パラメータを同定した.その結果,鹿沼土におい ては,モデル による結果の方が良い適合性を得 た.実験ならびに解析より得られた相対濃度の時 間的変化を図3に,推定した移流分散パラメータ を表1に示す.

得られた分散係数は,標準砂においてモデル を適用した結果<sup>1)</sup>よりもはるかに過大な値を示し ている.この理由として,標準砂では分散よりも 移流が卓越しているが,団粒構造を有する鹿沼土 においては,粒径が比較的大きくなるため,機械 的分散が顕著に現れたことが要因のひとつとして 挙げられる.一方で鹿沼土を用いた実験では,飽



モデル	分散係数 (m <sup>2</sup> /s)	物質移動係数 (1/s)	分散長(m)
	$2.20 \times 10^{-6}$		$5.0 \times 10^{-2}$
	$2.30 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$5.33 \times 10^{-2}$

和という条件というにも関わらず,カラム内における土壌の幾何構造の不均一性に起因する間隙特性や透水 特性などのばらつきが原因となり,選択的な流れが発生したために分散係数が過大評価された可能性がある. また,流れ領域全体における分散長を次式により求める.

 $D = \alpha_L u' + D_M$ 

•••(3)

ここで,  $\alpha_L$ :分散長(m),  $D_M$ :分子拡散係数(m<sup>2</sup>/s) である.ここでは,推定し得られた分散係数のオー ダーをふまえ,分子拡散係数は無視した.表1に示す鹿沼土における分散長の値も,標準砂において得られ た結果よりもはるかに過大な値を示している.two-region model による溶質移動現象の定量化は,ミクロスケ ールでの流速の相違による混合過程を分散係数で,ミクロポア・マクロポア間の物質移動を物質移動係数で表 現している.推定した物質移動係数は,佐藤ら<sup>3)</sup>が行った同様の実験より得られた値よりも大きな値を示し ている.本研究では,分散係数を過大に評価したために,物質移動係数の過小評価となった可能性があるも のと思われる.一方で,物質移動係数は可動水の存在割合との係わり合いが強いことから,最適化による物 質移動係数の推定には両者の値の妥当性を確認する必要があると考えられる.これには,物質移動係数や可 動水の存在割合等の移流分散パラメータを推定する方法だけではなく,個々に測定ないし算定する方法を検 討する必要性が挙げられる.

#### 6. まとめ

団粒構造を有する土壌試料の場合,分散が卓越したことにより分散長が大きくなることを示した.tailing 現象の再現性に関しては,two-region モデルが有効であることを確認した.今後は,広範囲な間隙分布を持 つ団粒構造における残留空気の検討,および物理的特性を把握することで,仮定の妥当性に関する検証を行 う.溶質輸送の指標となっている物質移動係数を定量的に把握するなど,さらなる検討が必要である.

### 引用文献

1)木下孝介,小松義隆,岡泰道(2004):溶質移動過程の経路依存性に関する実験と数値シミュレーション,土 木学会第59回年次学術講演会講演概要集第2部,pp.45-46.

2) 佐藤健, 棚橋秀行, 碓井洋介, 川縁浩平(2000): 土中の流れ場と溶質移動パラメータの関係, 地盤工学研究 発表会発表講演集, Vol.35, pp.1523-1524.